10К

УДК 004.421:004.272.26

О.В. Катаев[1], ***П.А. Соломахин***[2], ***А.В. Бовкун***[2]
[1] Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия
[2] НИИ многопроцессорных вычислительных систем им. академика А.В. Каляева Южного федерального университета, г. Таганрог, Россия
ovk@ mvs.tsure.ru, simans2000@ mail.ru, zero_0@ hotbox.ru

Об одном подходе к реализации автоматического контрастирования тепловизионного изображения

В статье рассматривается один из способов реализации автоматического контрастирования тепловизионного изображения в специализированных вычислительных системах, предназначенных для предварительной обработки сигналов матричных фотоприемных устройств. Предлагаемый способ автоконтрастирования основан на сочетании метода линейного преобразования диапазона входных кодов пикселей в диапазон выходных кодов и метода эквализации гистограмм и ориентирован на аппаратно-программную реализацию.

Введение

Матричные фотоприемные устройства (МФПУ) широко применяются в качестве приемников инфракрасного излучения различных тепловизионных систем технического зрения, обеспечивая решение широкого круга задач оборонного и общегражданского назначения. Разработка математических методов, новых алгоритмов и аппаратно-программных средств, предназначенных для обработки информации, получаемой от этих фотоприемников, является важнейшей задачей, характерной для периода развития современных поколений приборов инфракрасной фотоэлектроники [1].

Немаловажную роль в процессе обработки и визуализации тепловизионной информации играют специализированные вычислительные системы, выполняющие преобразование аналоговых сигналов от фоточувствительных элементов МФПУ в цифровую форму, формирование тепловизионного изображения на основе полученной информации и его предварительную обработку, вывод этого изображения на экран черно-белого монитора.

Одним из основных алгоритмов предварительной обработки тепловизионного изображения является алгоритм автоматического контрастирования изображения.

Постановка задачи

Современная технология изготовления МФПУ не позволяет без предварительной обработки получить тепловизионное изображение, пригодное для визуального восприятия. Основная проблема заключается в существовании геометрического шума и неоднородности изображения, связанных с различной чувствительностью и темновыми токами отдельных фоточувствительных элементов (ФЧЭ) матрицы. В связи с этим при обработке сигналов ФЧЭ возникает необходимость их коррекции по заранее проведенным калибровкам. Типовая коррекция проводится по формуле

$$S'_{i,j}=\frac{S_{i,j}-K1_{i,j}}{K2_{i,j}-K1_{i,j}}, \tag{1}$$

где $S'_{i,j}$ – скорректированный элемент изображения от i, j-го ФЧЭ матрицы;

$S_{i,j}$ – входной, некорректированный элемент изображения от i, j-го ФЧЭ матрицы;

$K1_{i,j}$ – значение калибровки по темному фону для i, j-го ФЧЭ матрицы;

$K2_{i,j}$ – значение калибровки по светлому фону для i, j-го ФЧЭ матрицы.

Очевидно, что подобная коррекция может быть достаточно просто проведена в цифровом виде. Для различных матриц и разных калибровочных значений изменение $S'_{i,j}$ может быть весьма значительным, в то время как интересующая оператора динамика яркостей по сцене, воспринимаемая человеческим глазом, намного меньше. В связи с этим возникает необходимость выделения из всего возможного диапазона кодов, получаемых после применения коррекции, только того диапазона, в котором сосредоточено текущее распределение яркости по наблюдаемой сцене и преобразования этого диапазона к фиксированному, воспринимаемому человеческим глазом – 8 бит, или 256 градаций.

Подобная задача автоконтрастирования изображения может решаться несколькими способами. Самый простой из них заключается в выделении 8 старших разрядов после применения коррекции. Этот способ применим только в том случае, когда калибровки К1 и К2 имеют строго определенное фиксированное значение вблизи соответственно минимума и максимума возможных яркостей и динамика яркостей по сцене всегда перекрывает всю шкалу возможных значений S из выражения (1). В любом другом случае подобный метод приведет если не к полной, то к частичной потере полезного сигнала. Так, если изображение с матрицы ФЧЭ имеет динамику 48 дБ(8 разрядов) или менее, а после коррекции диапазон кодов, например, составляет 96 дБ (16 разрядов), то простое выделение 8 старших разрядов полностью уничтожит информацию об изображении, оставив только среднюю по кадру яркость.

Следующим способом (по сложности обработки) является линейный пересчет диапазона входных кодов в диапазон выходных кодов по пиковым значениям яркости в кадре [2]. В этом случае находятся динамические уровни черного и белого как минимальное и максимальное значения сигнала от всех ФЧЭ матрицы за один кадр. Разность этих значений и определяет масштабный коэффициент, применяемый для пересчета входных значений в выходные. Однако применение этого метода на практике ограничено некоторыми условиями. Как известно, матрицы ФЧЭ могут содержать дефектные элементы, сигналы от которых не соответствуют их освещенности и могут приниматься за ложные уровни черного и белого. Кроме того, свою роль при слабой освещенности могут сыграть и собственные шумы ФЧЭ, и короткие помехи, наведенные в аналоговом канале и отображающиеся на выходном изображении как одиночные пиксели, отличающиеся по яркости. Все это приводит к тому, что канал преобразования данных от матрицы до видеомонитора «слепнет», реагируя на неверные уровни черного и белого. Существует также и объективная причина «ослепления» канала – очень яркие (темные) объекты, попадающие в поле зрения матрицы, но не представляющие интереса для наблюдателя. Например, попавшая в поле зрения матрицы спираль лампы накаливания сделает неразличимо темными окружающие слабоизлучающие предметы.

Третий способ, называемый методом эквализации гистограмм [2], является статистическим. Метод заключается в разбиении всего диапазона кодов после коррекции (исходного диапазона кодов) на участки по количеству выходных градаций яркости. Причем разбиение производится таким образом, чтобы все участки содержали одинаковое количество пикселей кадра. Очевидно, что в общем случае кодовая длина каждого диапазона не будет равна остальным. Далее всем пикселям, принадлежащим определенному участку, ставится в соответствие единственное значение кода выход-

ного изображения. На практике этот метод применим к статическим или медленно меняющимся изображениям. Обработка же быстро меняющихся изображений требует огромного объема вычислений в реальном времени (в случае программной реализации алгоритма) или больших аппаратурных затрат (при аппаратной реализации).

Таким образом, разработка алгоритма автоматического контрастирования теплового изображения, обеспечивающего качественную визуализацию тепловых объектов и одновременно не предъявляющего высоких требований к аппаратным средствам и вычислительной мощности специализированных вычислительных систем, является весьма актуальной.

Реализация автоконтрастирования тепловизионного изображения, ориентированная на аппаратно-программную реализацию

Предлагаемый вариант реализации автоконтрастирования изображения сочетает в себе относительную простоту первых двух методов автоконтрастирования и преимущества статистического подхода, позволяющие избежать случайного «ослепления» канала видеоданных. Алгоритм основан на применении не пиковых, а интегральных динамических уровней черного и белого в сочетании с переключением поддиапазонов используемых разрядов значений пикселей. На рис. 1 представлена структура аппаратных средств, реализующих алгоритм автоконтрастирования.

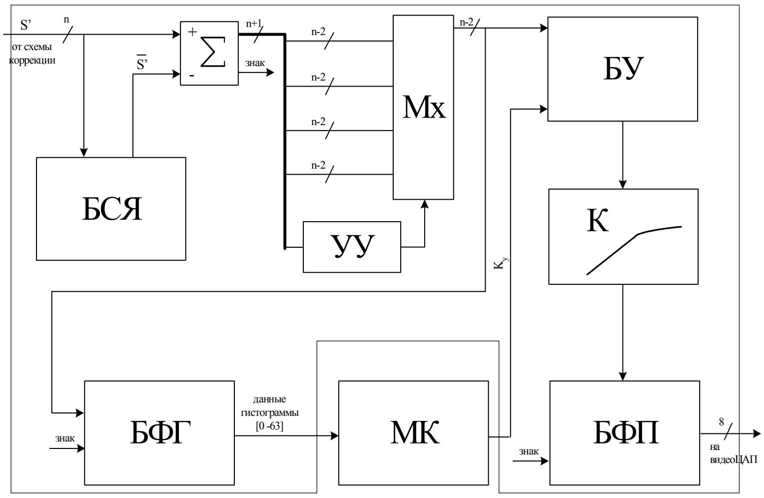


Рисунок 1 – Структура аппаратных средств, реализующих алгоритм автоконтрастирования тепловизионного изображения

На рис. 1 представлены следующие основные блоки (будут рассмотрены подробнее ниже):

БСЯ – блок определения средней по кадру яркости;

∑ – вычислитель модуля яркости пикселя, производит также вычитание средней по кадру яркости из значения яркости текущего пикселя;

Мх – мультиплексор, производящий предварительный выбор значащих разрядов яркости пикселей;

УУ – узел управления мультиплексором;

БФГ – блок формирования гистограммы;

МК – микроконтроллер, производящий обработку гистограммы и вычисление локального коэффициента умножения;

БУ – блок умножителя;

К – компандер;

БФП – блок формирования пикселя выходного изображения.

В качестве динамических уровней черного и белого в рассматриваемом алгоритме автоконтрастирования применяются значения гистограммы распределения яркости по кадру, ниже и выше которых лежит заданное количество N пикселей в кадре. Это позволяет полностью исключить влияние на динамические уровни черного и белого такого яркого (темного) объекта, размер которого на изображении в пикселях меньше N.

Гистограмма распределения яркости по кадру и, соответственно, динамические уровни черного и белого вычисляются максимально точно, когда количество поддиапазонов гистограммы (точек по оси абсцисс) равно количеству кодов входных пикселей после коррекции. При этом, например, если результат коррекции имеет 12 разрядов, необходимо организовать 4096 поддиапазонов, что приведет к огромным затратам оборудования при аппаратной реализации формирования гистограммы. Поэтому для аппаратной реализации алгоритма при вычислении гистограммы распределения яркостей пикселей весь диапазон входных кодов был разбит на 64 поддиапазона с использованием дополнительной регулировки переключением разрядов, что является оптимальным с точки зрения аппаратных затрат и адекватности регулировки контраста изображения.

Для переключения используемых разрядов и вычисления гистограммы применяется не исходное значение яркости пикселя после коррекции, а его модуль (далее – модуль яркости), что позволяет работать также с пикселями, яркость которых ниже значения калибровки по темному фону К1. Узел управления мультиплексором УУ анализирует наличие пикселей, модуль яркости которых имеет старшие значащие разряды MSB, (MSB-1), (MSB-2), (MSB-3), а также количество таких пикселей в кадре. На основании превышения (непревышения) определенного порога (например, 1% от общего количества пикселей в кадре) принимается решение о выборе одного из 4 диапазонов кодов модуля яркости: [0 – (MSB-3)], [1 – (MSB-2)], [2 – (MSB-1)], [3 – MSB].

Выбранный диапазон кодов разрядности (n-2) после мультиплексора разбит на 64 поддиапазона. В процессе обработки данных кадра изображения, вводимого с матрицы ФЧЭ, происходит накопление информации о количестве пикселей, модули яркости которых попадают в соответствующие поддиапазоны блоком формирования гистограммы БФГ. Далее последовательным суммированием количества пикселей по поддиапазонам «снизу вверх» и «сверху вниз» в микроконтроллере МК вычисляются динамические уровни черного и белого – как номера поддиапазонов, ниже и выше которых соответственно находится не менее N пикселей кадра. На основе полученных динамических уровней черного и белого микроконтроллер вычисляет локальный коэффициент умножения $K_у$, который может принимать значения от 1 (если уровень черного равен 0 – первый поддиапазон, а уровень белого – 63 – последний поддиапазон) до 64 (если уровень черного равен уровню белого, т.е. весь диапазон яркостей сосредоточен в одном поддиапазоне гистограммы). В общем виде значение коэффициента умножения можно выразить следующим образом:

$$K_y = \frac{64}{\max - \min + 1}, \qquad (2)$$

где max – уровень белого, min – уровень черного.

Необходимо отметить, что для правильного применения локального коэффициента умножения необходимо, чтобы среднее за кадр значение яркости пикселей, умножаемых на этот коэффициент, равнялось нулю. Это обеспечивается применением аппаратного вычислителя средней по кадру яркости и сумматора-вычитателя $\sum$, вы-

читающего среднее значение из яркости каждого пикселя. После умножения модулей яркости пикселей на локальный коэффициент умножения яркости всех (за исключением 2N) пикселей, будут лежать в полном диапазоне выходных кодов – 7 бит. Для сохранения информации о яркости оговоренных 2N пикселей в диапазоне выходных кодов предусмотрены защитные интервалы сверху и снизу (для модуля яркости этот защитный интервал необходим только сверху) и компандирование: яркость основной массы пикселей линейно трансформируется в диапазон между нулем и защитным интервалом, а 2N пикселей, не попадающие в основную массу, – с загибом амплитудной характеристики в диапазон от верхнего защитного интервала до максимума шкалы выходных кодов. После компандера в блоке формирования пикселя выходного изображения БФП производится восстановление исходного знака яркости пикселя и добавление желаемой средней яркости, равной половине шкалы выходных кодов, что повышает субъективную различимость изображения.

Заключение

Предлагаемый способ автоконтрастирования был реализован аппаратно-программным способом в многопроцессорной вычислительной системе, предназначенной для обработки сигналов МФПУ [3]. Вся схема, представленная на рис. 1, кроме микроконтроллера, реализована аппаратными средствами ПЛИС, а анализ гистограммы, нахождение динамических уровней черного и белого, вычисление локального коэффициента умножения выполняется программным способом. В вычислительной системе нормальный (единичный) коэффициент усиления канала видеоданных соответствует ситуации, когда выбран второй вход мультиплексора [1…(n-2)] и локальный коэффициент усиления равен единице. Таким образом, имеется возможность уменьшить сигнал до восьми раз (ситуация, когда калибровочные значения меньше полезного видеосигнала) или усилить до 128 раз (полезный видеосигнал много меньше калибровочных значений). Общая динамика коэффициента усиления видеотракта составляет 60 дБ.

Литература

1. Пономаренко В.П. Инфракрасная техника и электронная оптика. Становление научных направлений (1946 – 2006) / В.П. Пономаренко, А.М. Филачев. – М. : Физматкнига, 2006. – 336 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Катаев О.В. Многопроцессорная вычислительная система обработки сигналов матричных фотоприемных устройств / О.В. Катаев [и др.] // Многопроцессорные вычислительные и управляющие системы – 2007 : материалы Международной научно-технической конференции. Т. 1. – Таганрог : ТТИ ЮФУ, 2007. – С. 113-118.

О.В. Катаєв, П.А. Соломахін, А.В. Бовкун

Про один підхід до реалізації автоматичного контрастування тепловізійного зображення

У статті розглядається один із способів реалізації автоматичного контрастування тепловізійного зображення у спеціалізованих обчислювальних системах, призначених для попередньої обробки сигналів матричних фотоприймальних пристроїв. Пропонований спосіб автоконтрастування заснований на поєднанні методу лінійного перетворення діапазону вхідних кодів пікселів у діапазон вихідних кодів і методу еквалізації гістограм і орієнтований на апаратно-програмну реалізацію.

O.V. Katayev, P.A. Solomakhin, A.V. Bovkun

About the Approach to Realization of Thermal Image Automatic Staining

In the paper is discussed one method of thermal image automatic staining in special-purpose computer systems which are intended for signals preprocessing in matrix photodetectors. The suggested method of automatic staining is based on combination of two methods. The first one is method of linear transformation of input pixels codes range into output codes range. The second one is method of histograms equalization. The method of automatic staining is oriented on hardware and software realization.

Статья поступила в редакцию 09.06.2009.